

## 通信用変成器に関する研究

著者	西塚 典生
号	109
発行年	1966
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/8837">http://hdl.handle.net/10097/8837</a>

氏 名 ( 本 籍 )	西 塚 典 生 ( 山 形 県 )
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 109 号
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 4 2 年 3 月 2 4 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科 専 門 課 程	東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科 ( 博 士 課 程 ) 電 気 及 通 信 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	通 信 用 変 成 器 に 関 す る 研 究

( 主 査 )

論 文 審 査 委 員	教 授 佐 藤 利 三 郎	教 授 内 田 英 成
	教 授 喜 安 善 市	教 授 大 泉 充 郎
	助 教 授 千 葉 二 郎	

## 論 文 内 容 要 旨

### § 1 序

通信用変成器は古くから実用されその理論及び設計はほぼ解明されている。しかし周波数帯域が広くなるにつれて従来の集中定数回路に基づく理論より更に詳細な理論解析ならびに設計が行なわれなければならない。変成器は一つの結合二本線路である。従来の集中定数の理論を離れて分布定数回路理論から変成器を研究する事も一つの方法である。

### § 2 変成器の分布定数回路論的考察

変成器の巻線比が  $n : 1$  の場合について分布定数回路論的に考察する。一様で結合が密な結合

二本線路の単位長毎の分布インダクタンス及び容量の行列を,

$$[L] = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{12} & L_{22} \end{bmatrix} \equiv L_0 \begin{bmatrix} n & 1-m \\ 1-m & 1/n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{12} & C_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

とする。線路上  $z$  の任意点の電圧  $V$  , 電流  $I$  には,

$$\left. \begin{aligned} -d/dz \cdot [V] &= j\omega [L] [I] \\ -d/dz \cdot [I] &= j\omega [C] [V] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

の関係が成立する。連立微分方程式 (3) の解として二つの独立な伝送状態 (二線の電流方向が逆で磁束が最少となる平衡伝送と同方向で主磁束が存在する不平衡伝送) が導びかれる。一般の伝送はそれらの重ね合せである。すなわち電流  $I$  , 電圧  $V$  は,

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1/n & -\alpha_2/n \\ n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_b \\ I_u \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/n & -1 \\ \alpha_2 & \alpha_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_b \\ V_u \end{bmatrix} \quad (5)$$

となり, 伝搬定数  $r$  , 特性インピーダンス  $W$  は

$$r_b = j\omega \sqrt{2m L_0 C_0} \quad r_u = j\omega \sqrt{L_0 C} \quad (6)$$

$$W_b = \sqrt{2m L_0 / C_0} \quad W_u = \sqrt{L_0 / C} \quad (7)$$

となる。ただし,

$$\alpha_1 = n C_{12} + C_{22} / C, \quad \alpha_2 = n C_{11} + C_{22} / C$$

$$C_0 = C_{11} C_{22} - C_{12}^2 / C, \quad C = n C_{11} + \frac{1}{n} C_{22} + 2 C_{12}$$

である。これらの伝送定数を用いた結合二本線路の入端子回路網理論から変成器の等価回路を導びけば図 2.1 のようになる。これらの結果から広帯域変成器の平衡特性インピーダンスと終端抵抗とは  $W_b = \sqrt{R_1 R_2}$  の関係にある事が必要である。また図の  $c$  ,  $d$  の組合せで六端子の

新広帯域形変成器が実現できよう。

	回路構造	等価回路		回路構造	等価回路
(a)			(c)		
(b)			(d)		

図 2.1 変成器の回路構造と等価回路 ( $Wu \rightarrow \infty$ )

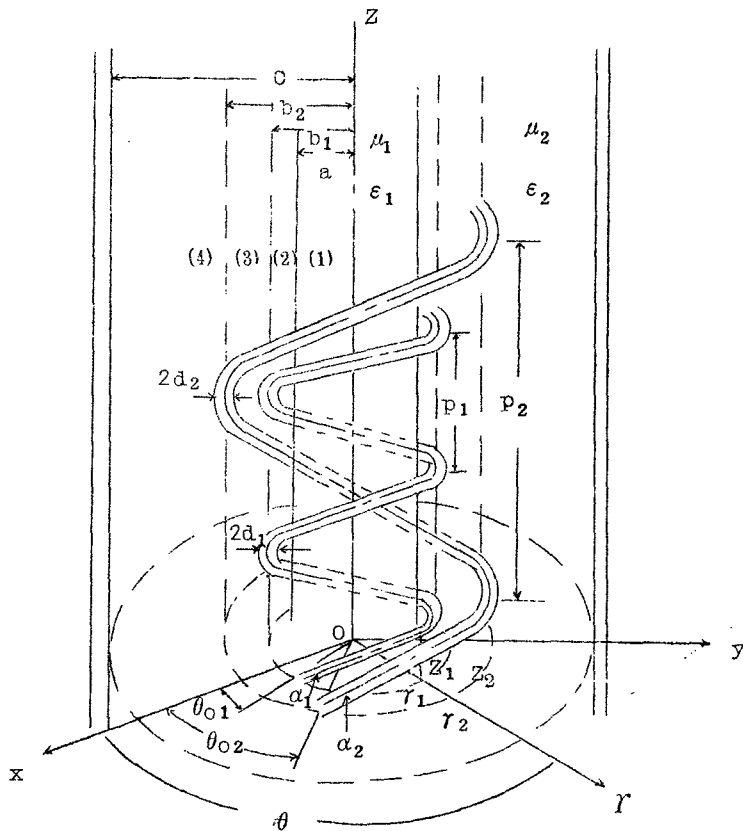


図 3-1 磁心を有する遮蔽形二重螺旋線線路

### § 3 遮蔽形二重巻螺線線路の電磁界

図 3.1 のような磁心を有する螺線線路は変成器として古くから用いられている。その電磁界を考える。電界  $E$  磁界  $H$  の  $z$  成分は

$$E_z^{(1)(2)(3)(4)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} [I_n(\lambda_{1,2}r) a_n^{(1)(2)(3)(4)} + K_n(\lambda_2 r) c_n^{(2)(3)(4)}] F_n$$

$$H_z^{(1)(2)(3)(4)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} [I_n(\lambda_{1,2}r) b_n^{(1)(2)(3)(4)} + K_n(\lambda_2 r) d_n^{(2)(3)(4)}] F_n$$

で表わされる。但し添字  $(1)(2)(3)(4)$  は図の円筒状の各領域に対応し， $\lambda_{1,2}^2 = k^2 - k_{1,2}^2$ ，

$F_n = e^{jn\theta - jhz + j\omega t}$  である。

線路の導線の太さを考慮した境界条件を与えて電流比，伝搬定数，特性インピーダンスを求め，数値計算例を示せば図 3.2 図 3.3 図 3.4 のような結果となる。これらより磁心によって平衡伝送の定数は変わらず不平衡伝送は起り難くなる事がわかる（速度が小さく特性インピーダンスが大きくなる）。しかし高い周波数でその効果は減少する。

### § 4 変成器の回路定数

図 3.1 のような線路の伝送定数は低い周波数では一定となる。今  $[L]$   $[C]$  の各要素について求めた結果は，

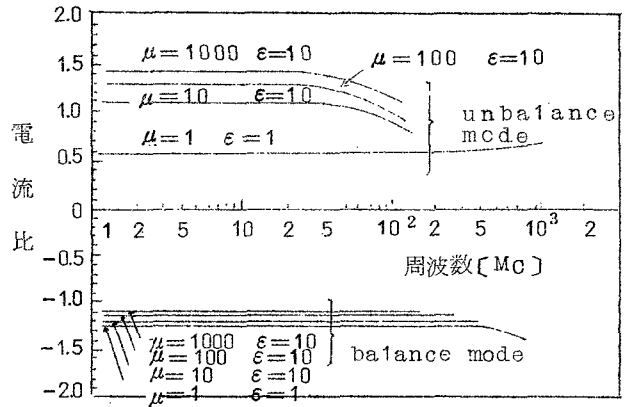


図 3.2 電流比の周波数特性

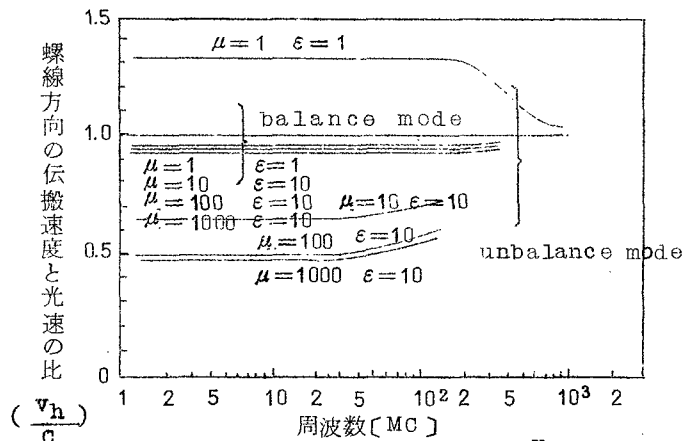


図 3.3 螺旋方向の伝搬速度と光速の比  $(\frac{v_h}{c})$

$$L_{11,22} = \frac{\mu_2}{2\pi} \cot^2 \alpha_{1,2} \left\{ \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{b_{1,2}^2}{c^2} \right) \left( 1 + \frac{\left( \frac{a^2}{b_{1,2}^2} \right) \left( 1 - \frac{b_1^2}{c^2} \right)}{\left( \frac{a^2}{c^2} \right) + \frac{\mu_2}{\mu_1 - \mu_2}} \right) + \delta'_{11,22} \right\}$$

$$L_{12} = \frac{\mu_2}{2\pi} \cot \alpha_1 \cot \alpha_2 \left\{ \frac{1}{2} \left( \frac{b_1}{b_2} \right) \left( 1 - \frac{b_2^2}{c^2} \right) \left( 1 + \frac{\left( \frac{a^2}{b_1^2} \right) \left( 1 - \frac{b_1^2}{c^2} \right)}{\left( \frac{a^2}{c^2} \right) + \frac{\mu_2}{\mu_1 - \mu_2}} \right) + \delta'_{12} \right\}$$

$$C_{11,22} = 2\pi \epsilon_2 \cdot \frac{1}{d} \cdot \left\{ \ln \frac{c}{b_{2,1}} + \delta_{22,11} \right\}$$

$$C_{12} = 2\pi \epsilon_2 \cdot \frac{1}{d} \cdot \left\{ \ln \frac{c}{b_2} + \delta_{12} \right\}$$

$$d = \left\{ \ln \frac{c}{b_1} + \delta_{11} \right\} \left\{ \ln \frac{c}{b_2} + \delta_{22} \right\} - \left\{ \ln \frac{c}{b_2} + \delta_{12} \right\}^2$$

となり、これらは静電磁気学的に求められる式に一致する。ここで  $\delta'_{11}$  などは導線の太さの項である。

## §5 変成器の設計資料

変成器の分布定数論的設計法は終端抵抗値  $R_1, R_2$  の時

$$n = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}, \quad W_b = \sqrt{R_1 R_2}$$

とする事と所要周波数帯域から巻線長及び  $W_b$  の大きさを定める事である。前述の計算

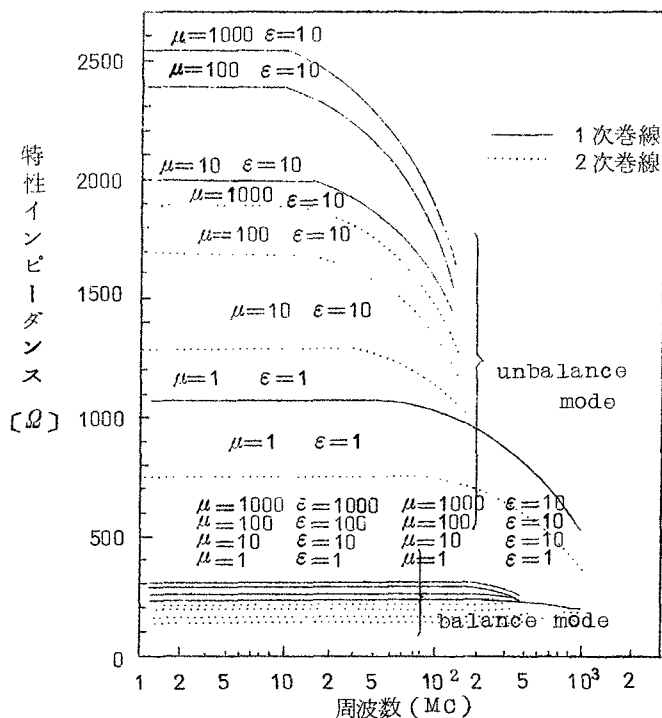
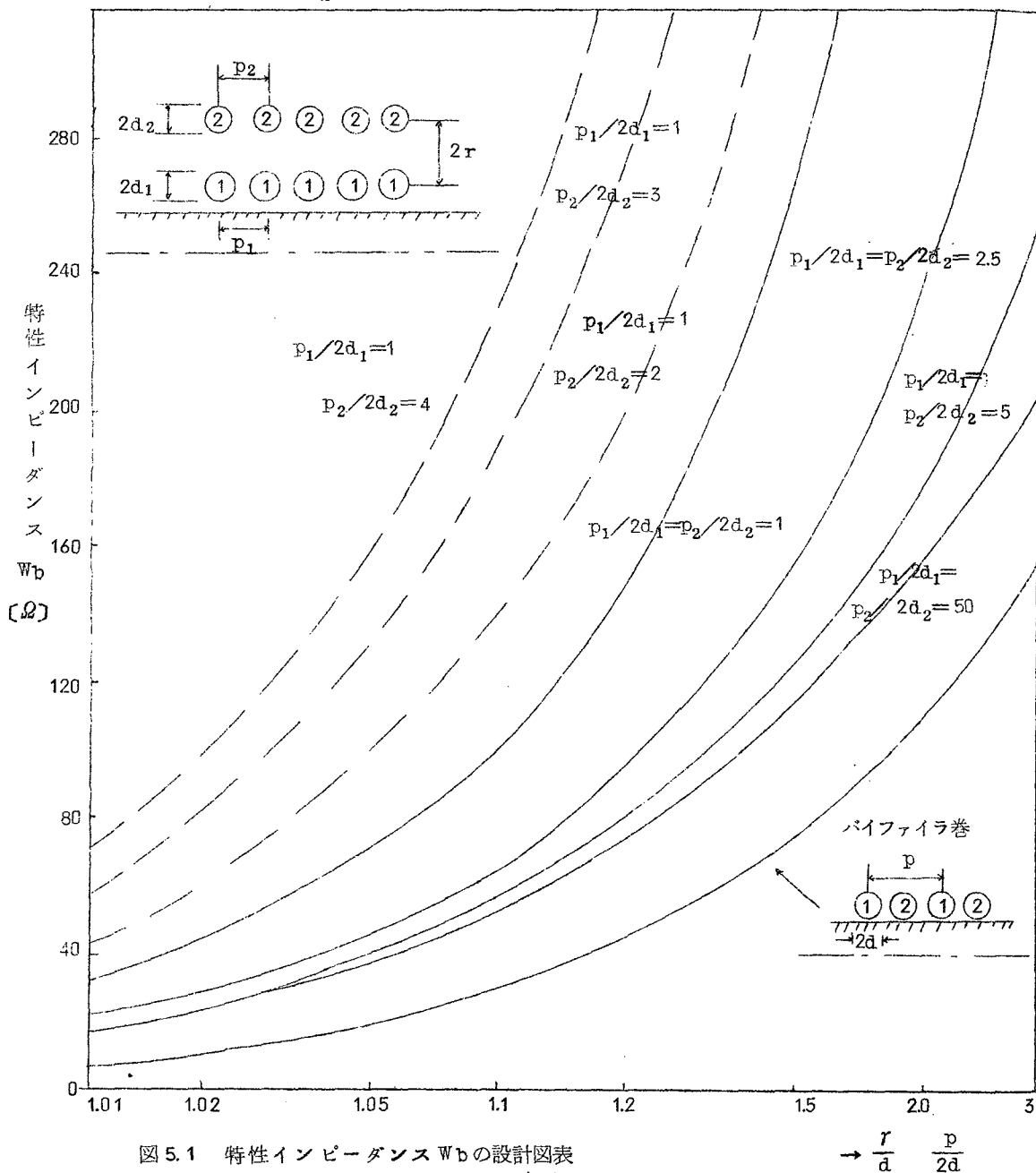


図3.4 特性インピーダンスの周波数特性

によって得られた  $W_b$  の設計図表を図 5.1 に示す。次に変成器の伝送特性は平衡動作減衰量  $B_E$  と不平衡減衰量  $U$  によって与えられるが、図 2.1 c d を用いた新しい広帯域形変成器の場合についてその巻線長及び  $W_u$  を定める設計図表は図 5.2 図 5.3 のようになる。

ただし  $m^2 = \frac{W_b}{4W_u}$  とおく。



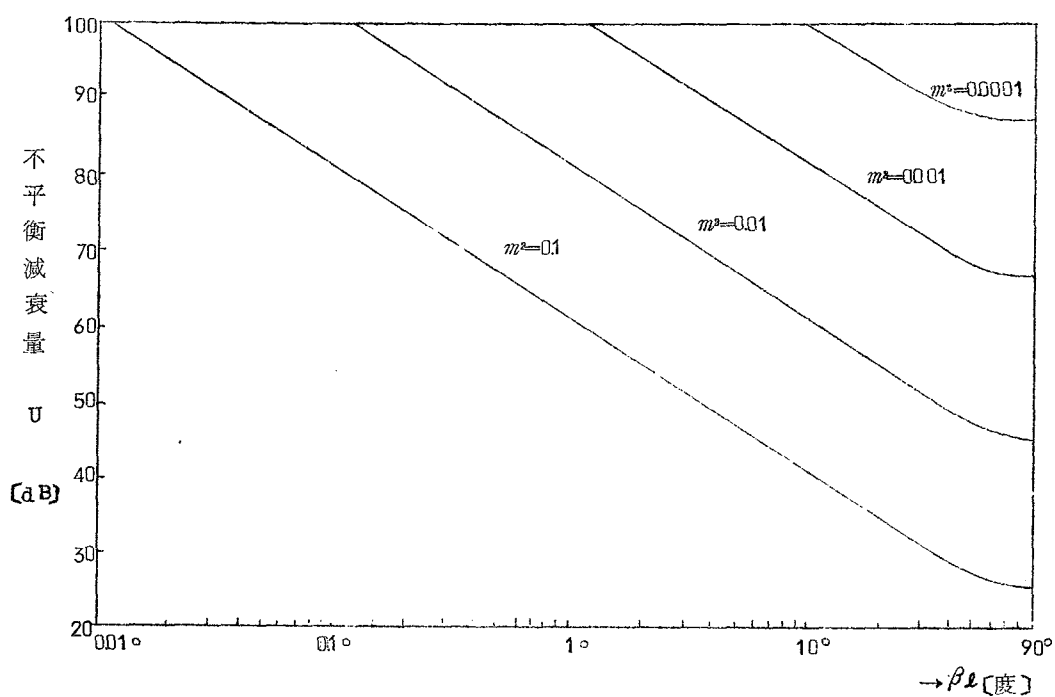


図5・3 広帯域形変成器の不平衡減衰量

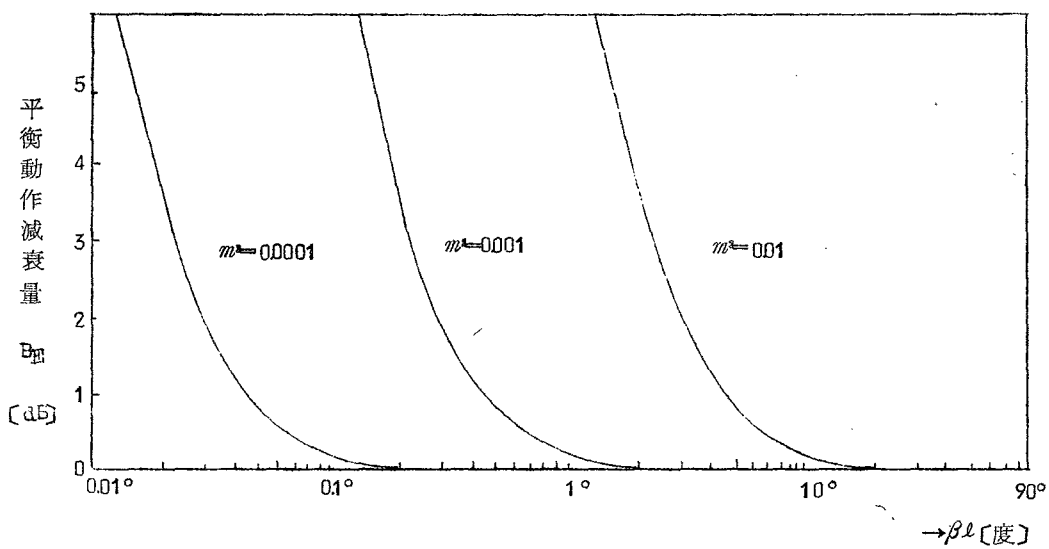


図5・2 広帯域形変成器の平衡動作減衰量



## § 6 変成器の試作と測定

上述の理論を確かめる為に新しい広帯域形変成器を実験的に試作設計し測定した結果を理論的特性と共に図 6.1 図 6.2 に示す。巻線比が 1 : 1 ( $2R_1=2R_2=100\Omega$ ) 及び 2 : 1 ( $2R_1=400, 2R_2=100\Omega$ ) の場合について示したものである。

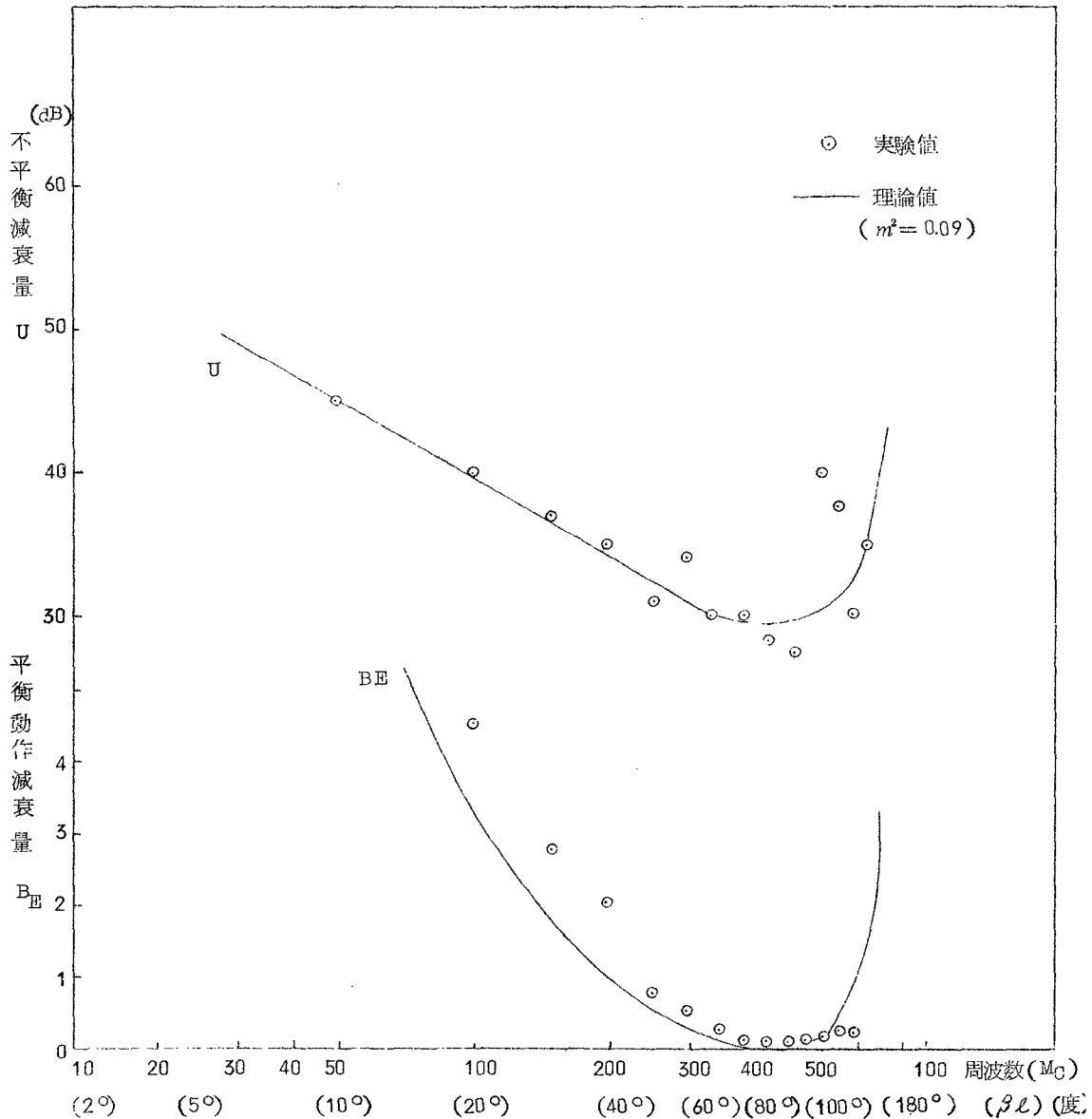


図 6.1 広帯域形変成器の特性 (巻線比 2 : 1 の場合)

これらの実験値は理論曲線によく一致し理論及び実験の妥当性が確かめられた。VHF, UHF帯に於ても設計可能となった。

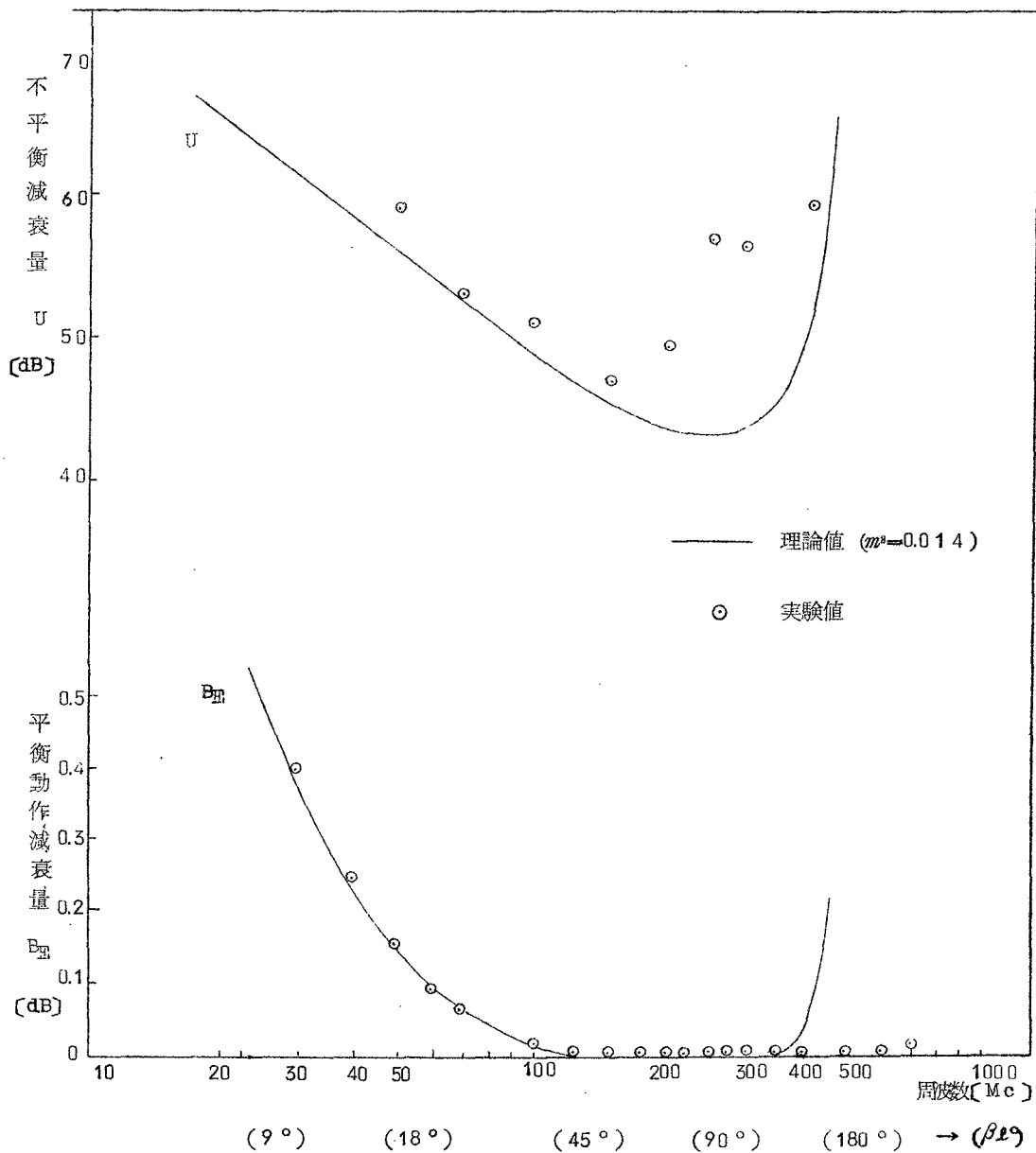


図6-2 広帯域形変成器の特性 (巻線比が1:1の場合)

## § 7 結 論

以上通信用変成器に関する研究の要旨を述べた。すなわち § 2 では変成器を結合の密な結合二本線路で置き換え伝送理論を述べ、この平衡不平衡伝送理論に基づいて種々の形の変成器の等価回路を導びき広帯域化の為の条件を明らかにした。§ 3, § 4 では磁心を有する遮蔽形二重巻螺線線路の電磁界を解き、各伝送定数を求め周波数特性の計算例を示し高周波になると変化するが低い周波数では一定の定数であり静電磁気学的に求められる値と等しくなる事を述べた。§ 5 では広帯域形変成器の分布定数論的設計法を述べ、特性インピーダンス  $W_b, W_u$  および巻線長を設計するに必要な設計図表を示した。§ 6 では上述の理論にもとづいて変成器の設計試作を行ない測定し分布定数論的設計理論を実際に確かめてある。

### 【謝辞】

本研究に終始御懇篤な御指導を賜った佐藤利三郎先生に謹んで感謝の意を表します。

## 審 査 結 果 の 要 旨

通信用変成器は古くから実用され、その理論及び設計はほぼ解明されている。しかし周波数帯域が広がるにつれて、従来の集中定数回路に基づく理論では現象を正確に説明出来ず、設計に至っては殆ど経験をもとにしてなされているのが現状である。これを解決するには更に実際の回路構造に基づく理論的、実験的研究がなされなければならない。著者は従来の集中定数回路理論を離れて、分布定数回路論的見方による変成器の研究を行ない新しい設計理論を確立した。本論文はそれらを取りまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では通信用変成器の分布定数回路理論を詳述している。即ち変成器は結合の密な二本線路よりなるとし、これらの線路を伝搬する伝送状態に二つの平衡、不平衡伝送状態のあることを指摘し、変成器として動作するのは平衡伝送であることを述べ、それに基づく六端子、四端子の変成器の等価分布定数回路を数多く導き、広帯域変成器となるための線路定数、線路長及び負荷抵抗の関係を初めて明らかにし、平衡—不平衡変換を広帯域にわたり動作する新しい回路を導いている。これらは新しい知見である。

第3章、第4章には円形断面を有する磁心に巻かれた二重巻線線路の電磁界をマクスウエルの基礎方程式より解析し、第2章で用いた回路定数を構造から求める基本式を導入した結果を述べている。即ち、静磁場、静電場として求めた値とは周波数が高くなるほど、磁性材料の導磁率の大きくなるほど異なってくることを数値計算により説明し、高い周波数帯域に用いる変成器の回路定数を求めている。

第5章では変成器の設計に必要なチャートをもとめて述べている。即ち巻線方法と平衡、不平衡特性インピーダンスの設計図表及び巻線長と変成器の周波数特性図表等である。

第6章ではVHF, UHF 帯に使用する変成器を前述の諸理論及び設計法に基づいて設計し、試作し、その測定結果を述べている。これにより変成比1:1及び1:2, 周波数帯域1000MCまでの広帯域変成器の設計が初めて得られた。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は通信用変成器の分布定数回路論的考察に基づく理論解析を行ない、更に電磁界理論から構造と回路定数との関係を求めて始めて詳細な設計理論を統一し、更にそれに基づく広帯域変成器の設計試作によりその理論の正しいことを証明したものであって、通信工学に寄与するところが少なくない。よって本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。